

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/JP05/005530

International filing date: 25 March 2005 (25.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: JP  
Number: 2004-092660  
Filing date: 26 March 2004 (26.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 21 April 2005 (21.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

31.03.2005

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日            2 0 0 4 年   3 月 2 6 日  
Date of Application:

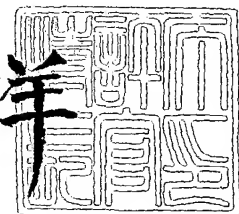
出 願 番 号            特 願 2 0 0 4 - 0 9 2 6 6 0  
Application Number:  
[ST. 10/C]:            [ J P 2 0 0 4 - 0 9 2 6 6 0 ]

出      願      人            財 団 法 人 電 力 中 央 研 究 所  
Applicant(s):

2 0 0 5 年   3 月   7 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川 洋



出証番号   出証特 2 0 0 5 - 3 0 1 9 4 6

【書類名】 特許願  
【整理番号】 P04069-010  
【提出日】 平成16年 3月26日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1 財団法人電力中央研究所 横  
    須賀研究所内  
    【氏名】 中村 智宣  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1 財団法人電力中央研究所 横  
    須賀研究所内  
    【氏名】 土田 秀一  
【発明者】  
    【住所又は居所】 神奈川県横須賀市長坂 2-6-1 財団法人電力中央研究所 横  
    須賀研究所内  
    【氏名】 三柳 俊之  
【特許出願人】  
    【識別番号】 000173809  
    【氏名又は名称】 財団法人電力中央研究所  
【代理人】  
    【識別番号】 100081994  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 鈴木 俊一郎  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100103218  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 牧村 浩次  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100110917  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 鈴木 亨  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100115392  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 八本 佳子  
【手数料の表示】  
    【予納台帳番号】 014535  
    【納付金額】 21,000円  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1

## 【書類名】 特許請求の範囲

## 【請求項 1】

炭化珪素エピタキシャル層の表面にショットキー電極を形成するショットキー接合型半導体装置の製造方法であって、

炭化珪素エピタキシャル層の表面にモリブテン、タングステン、またはこれらの合金からなるショットキー電極を形成した後、熱処理することにより、 $n$  因子をほぼ一定の低い値に保った状態でショットキー障壁の高さを制御することを特徴とするショットキー接合型半導体装置の製造方法。

## 【請求項 2】

熱処理温度が  $300 \sim 1000^{\circ}\text{C}$  であることを特徴とする請求項 1 に記載のショットキー接合型半導体装置の製造方法。

## 【請求項 3】

$n$  因子を  $1.05$  以下に保った状態で、ショットキー障壁の高さを  $1.0 \sim 1.3 \text{ eV}$  の範囲内で任意に制御することを特徴とする請求項 2 に記載のショットキー接合型半導体装置の製造方法。

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ショットキー接合型半導体装置の製造方法

【技術分野】

【0001】

本発明は、炭化珪素エピタキシャル層の表面にショットキー電極層を形成するショットキー接合型半導体装置の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

炭化珪素 (SiC) は、Si と比べてバンドギャップが約 3 倍、飽和ドリフト速度が約 2 倍、絶縁破壊電界強度が約 10 倍と優れた物性値を有する半導体であることから、電力用半導体装置の材料として開発が進み、現在では SiC を用いたショットキーダイオードが市販されるに至っている。

【0003】

このショットキーダイオードは、昇華法により結晶成長させた SiC のバルク結晶をウエハ状にスライスしたものなどを使用した基板と、この基板の表面に化学蒸着法 (CVD) で SiC 膜を成長させたエピタキシャル層と、このエピタキシャル層の表面にスパッタ法、真空蒸着法などにより形成したショットキー電極と、基板の裏面側に形成したオーミック電極とから構成される。ショットキー電極の材料としては、ニッケル、チタンなどが用いられている (例えば特許文献 1 を参照)。

【0004】

ショットキーダイオードのような、ショットキー接合型の電力用半導体装置では、電力損失を小さくする必要がある。順方向への通電時における電力損失と、逆方向電圧の作用時におけるリーク電流などによる電力損失との総和に基づいたショットキーダイオードの電力損失は、ショットキー電極と SiC との接合界面におけるショットキー障壁の高さ (SBH) に依存する。逆方向耐電圧が 0.6 ~ 4.0 kV 程度であるショットキーダイオードが使用されることが多いが、このような逆方向耐電圧では、SBH が 0.9 ~ 1.3 eV 程度である場合に電力損失が最小となる。しかし、ニッケルもしくはチタンでショットキー電極を形成した場合、その SBH は、ニッケルで 1.6 eV、チタンで 0.8 eV 程度となり、ショットキーダイオードの電力損失を最小にすることはできない。

【0005】

SiC 層上に Ti でショットキー電極を形成した後、所定温度で熱処理を行うことにより SBH を制御することが提案されている。ところが、このようにチタンなどでショットキー電極を形成したものに熱処理を施すと、図 2 にも示したように、ショットキーダイオードの性能を表すパラメータである理想因子 (n 因子) の値が増大して、理想的な値である 1 から大きく離れてしまう。

【0006】

一般に、ショットキー障壁界面を通過する電流が障壁の山の上だけを通過する場合、すなわち熱拡散電流輸送のみであるとした場合では、電圧に対して電流が指数関数的に増大し、電流値は  $\exp(eV/kT) - 1$  (ここで、e は素電荷、V は電圧、k はボルツマン定数、T は温度) と表される。しかし、障壁の山の上だけでなく、障壁の内部をトンネリングなどにより通過する場合では、電圧が低くても電流が流れてしまい、電流値は上式からずれるため、電圧 V を見かけ上、式に合うように  $V/n$  で置き換えて、電流値は  $\exp(eV/nkT) - 1$  と表現される。この n が理想因子であり、熱拡散輸送電流のみの理想的な場合では  $n = 1$  であるが、各種の要因によりこれ以外の電流が流れる実際の場合では、n 因子の値は 1 よりも大きくなる。

【0007】

上記したように、Ti などでもショットキー電極を形成した後、SBH を制御するために所定温度での熱処理を行うと n 因子の値は 1 よりも大幅に増加してショットキーダイオードの性能が劣化し、例えば逆方向電圧の作用時におけるリーク電流が増加してしまうなどの問題があった。

【特許文献1】特開2000-188406号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

本発明は、上記したような従来技術における問題点を解決するためになされたものであり、ショットキーダイオードで多く使用される0.6~4kV程度の耐電圧のものを得る際に、n因子を増加させることなく、ショットキー障壁の高さを電力損失が最小となる所望の値に制御可能なショットキー接合型半導体装置の製造方法を提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明者は、モリブテンもしくはタングステンを用いてショットキー電極を形成して熱処理を行うことにより、n因子を約1.05以下に保った状態で、ショットキー障壁の高さを1.0~1.3eVと、電力損失が最小となる領域において所望の最適値に制御することができることを見出し本発明を完成するに至った。

【0010】

本発明のショットキー接合型半導体装置の製造方法は、炭化珪素エピタキシャル層の表面にショットキー電極層を形成するショットキー接合型半導体装置の製造方法であって、炭化珪素エピタキシャル層の表面にモリブテン、タングステン、またはこれらの合金からなるショットキー電極層を形成した後、熱処理することにより、n因子をほぼ一定の低い値に保った状態でショットキー障壁の高さを制御することの特徴としている。

【0011】

この熱処理は、300~1000℃、好ましくは400~700℃で行われ、これにより、n因子を1.05以下に保った状態で、ショットキー障壁の高さを、1.0~1.3eV（モリブテンでは1.1~1.3eV、タングステンでは1.0~1.1eV）の範囲内で任意に制御することができる。

【発明の効果】

【0012】

本発明によれば、n因子を大幅に増加させることなく、ショットキー障壁の高さを電力損失が最小となる領域において所望の値に制御することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について説明する。図1(a)~(d)は、本実施形態におけるショットキーダイオードの製造工程を説明する断面図である。図1(a)において、1はSiC基板、2はSiCエピタキシャル層、3はイオン注入層である。SiC基板1は、高濃度( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )に不純物がドーピングされたn型SiCからなり、昇華法により結晶成長させたSiCのバルク結晶をスライスしたものを使用している。この基板1の表面を研磨処理などで平滑化し、この平滑面に、化学蒸着法(CVD)を用いて、カーボンの原料ガスであるプロパンと、シリコンの原料ガスであるシランと、キャリアガスである水素と、ドーパントガスである窒素とを供給することにより、1500℃~1600℃程度の温度で2~20 $\mu\text{m/h}$ の成長速度でSiCをエピタキシャル成長させ、不純物として窒素が $2.2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ ドーピングされた膜厚30 $\mu\text{m}$ のエピタキシャル層2を形成する。

【0014】

得られた基板を洗浄した後、1125℃で1時間程度の酸化処理を施し、エピタキシャル層2の上に、イオン注入時に汚染を防止するための保護膜として作用する酸化膜を形成する。

【0015】

次いで、この開口部からp型不純物となるアルミニウムをイオン注入し、アルミイオン注入層3を形成する。このアルミイオン注入層3は、後に形成するショットキー電極の周

縁部における電界集中を緩和して耐電圧性を向上するために、この周縁部に形成される。アルミイオン注入層 3 中のアルミイオン濃度は、中心から外部に向かって濃度が低くなるように制御され、アルミ濃度は中心において  $2.2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、外部において  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  となっている。アルミイオンを注入した後、アルミニウムを電気的に活性化するために  $1700^\circ\text{C}$  で 3 分間の熱処理を施す。

#### 【0016】

得られた基板を洗浄した後、 $1200^\circ\text{C}$  で 5 時間の酸化処理を施し、図 1 (b) に示したように、基板の両面に  $\text{SiO}_2$  酸化膜 4、5 を形成する。 $\text{SiC}$  基板 1 の裏面側の酸化膜 5 をバッファードフッ酸により除去した後、図 1 (c) に示したように、この裏面に真空蒸着法により膜厚  $350 \text{ nm}$  のニッケル膜 6 を堆積させ、次いで、 $1050^\circ\text{C}$  で 90 秒間の熱処理を施す。この熱処理によって、図 1 (d) に示したように、ニッケル膜 6 と  $\text{SiC}$  基板 1 は合金 (ニッケルシリサイド) 層を形成し、オーミック電極 7 として機能する。

#### 【0017】

オーミック電極 7 を形成した後、上記と同様にフォトリソグラフィによりショットキー電極を形成する領域の  $\text{SiO}_2$  酸化膜 4 を除去する。次いで、スパッタ法により、室温  $\sim 50^\circ\text{C}$  程度で数分間、スパッタガスとして  $\text{Ar}$  を用いて  $\text{SiC}$  エピタキシャル層 2 の表面にモリブテン膜 8 (ショットキー電極) を膜厚  $100 \text{ nm}$  で堆積する。

#### 【0018】

モリブテン膜 8 を堆積した後、所定温度で熱処理を施す。好ましくはアルゴン、窒素などの不活性ガスの雰囲気下で熱処理する。これにより、ショットキーダイオードの使用時において温度条件などの変動に対して物性を安定化するとともに、SBH を電力損失が最小となる領域において所望の値となるように制御することができる。すなわち、 $300 \sim 1000^\circ\text{C}$ 、好ましくは  $400 \sim 700^\circ\text{C}$  の範囲内で熱処理を施すことによって、SBH を  $1.1 \sim 1.3 \text{ eV}$  ( $400 \sim 700^\circ\text{C}$  では  $1.1 \sim 1.25 \text{ eV}$ ) の間で任意に制御することができる。この際、 $n$  因子はこの温度範囲における熱処理によってはほとんど変動せずに、1 に近い低い値に保たれる。

#### 【0019】

熱処理温度と SBH および  $n$  因子との関係を図 2 に示す。このように、モリブテンを使用した場合、SBH は熱処理前の約  $1.1 \text{ eV}$  から、 $600^\circ\text{C}$  では約  $1.2 \text{ eV}$  まで増加するとともに、 $n$  因子は 1.05 以下のほぼ一定値に保たれる。本実施形態では、 $600^\circ\text{C}$  で熱処理することにより、耐電圧  $4 \text{ kV}$  の場合に電力損失を低減するための最適値である  $1.2 \text{ eV}$  に SBH を調節した。

#### 【0020】

これに対して、従来ショットキー電極に使用されている金属の一つであるチタンでは、図 2 に示したように、熱処理を施すことにより SBH を制御することはできるが、同時に  $n$  因子が大幅に変動、増加し、逆方向電圧によるリーク電流の増加など性能に影響してしまう。

#### 【0021】

本実施形態により得られたショットキーダイオードについて順方向および逆方向の電流電圧測定を行った結果を図 3 に示す。図 3 (a) は順方向特性、図 3 (b) は逆方向特性である。特性オン抵抗 ( $R_{on}$ ) は  $12.2 \text{ m}\Omega \text{ cm}^2$ 、特性オン電圧 ( $V_f$ : 順方向電流密度が  $100 \text{ A cm}^{-2}$  となる電圧) は  $2.2 \text{ V}$  であり、耐電圧は  $4.4 \text{ kV}$  であった。このように、高い耐電圧を有するとともに、特性オン抵抗および特性オン電圧が非常に低い、電力損失の少ないショットキーダイオードが得られた。

#### 【0022】

本実施形態ではショットキー電極の形成材料としてモリブテンを使用した。図 2 に示したように、タンゲステンを使用しても、 $n$  因子を低い値に保ち素子の性能を劣化させることなく、ショットキー障壁の高さを電力損失が最小となる領域において所望の値に制御することができる。

## 【0023】

タングステンを用いた場合、ショットキー電極を形成した後、熱処理することにより、 $n$  因子を 1.05 以下に保った状態で、300～1000℃、好ましくは 400～700℃ の範囲内で熱処理を施すことによって、SBH を 1.0～1.1 eV (400～700℃ では 1.05～1.1 eV) の間で、電力損失が最も小さい最適値となるように任意に制御することができる。モリブテンとタングステンの合金を使用してショットキー電極を形成した場合であっても、上記の温度範囲での熱処理によって同様の制御が可能である。

## 【0024】

なお、エピタキシャル膜を成長させる基板は、例えばシリコンであってもよい。SiC 基板を使用する場合、その結晶型としては 4H、6H あるいは 3C 型などが好ましいが、他の結晶型であってもよい。

## 【0025】

ショットキー電極の周縁部における電界集中を緩和するために、本実施形態のようにイオン注入層を形成する場合、例えば SiC エピタキシャル層の導電型とは逆の導電型の他の不純物をイオン注入してもよい。

## 【0026】

モリブテンまたはタングステンを SiC エピタキシャル層上に堆積する方法として、スパッタ法の他、真空蒸着法、電子ビーム法などを用いてもよい。

本実施形態ではショットキーダイオードのショットキー電極にモリブテンを用いて熱処理したが、この他、例えばゲート電極としてショットキー電極を用いる MESFET などのショットキー接合型半導体装置の製造にも適用できる。

## 【0027】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこの実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲内において種々の変形、変更および修正が可能である。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0028】

【図 1】 図 1 は、本実施形態におけるショットキーダイオードの製造工程を説明する断面図である。

【図 2】 図 2 は、温度と SBH および  $n$  因子との関係を示したグラフである。

【図 3】 図 3 は、本実施形態により得られたショットキーダイオードについて順方向および逆方向の電流電圧測定を行った結果を示したグラフであり、図 3 (a) は順方向特性、図 3 (b) は逆方向特性を示す。

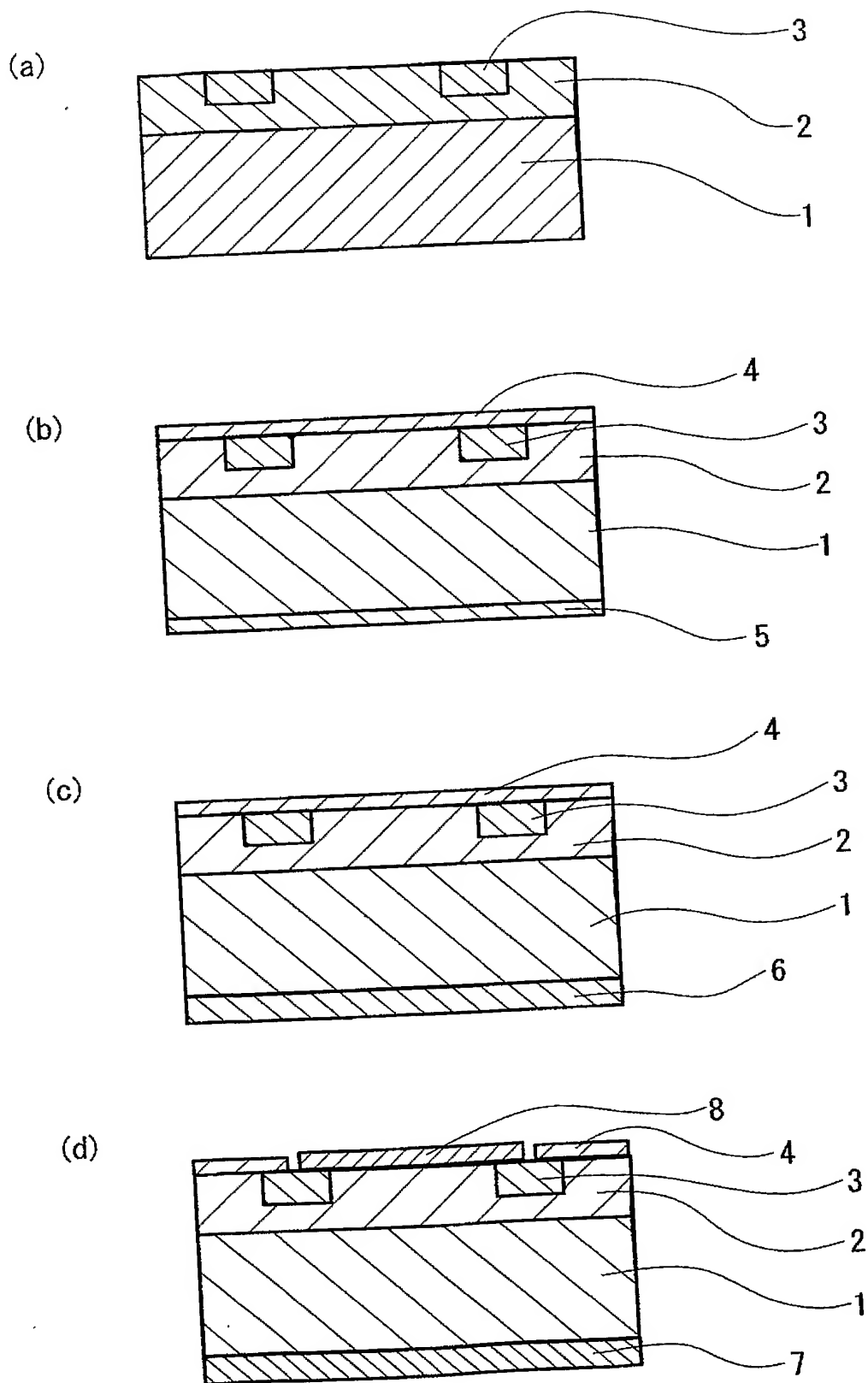
## 【符号の説明】

## 【0029】

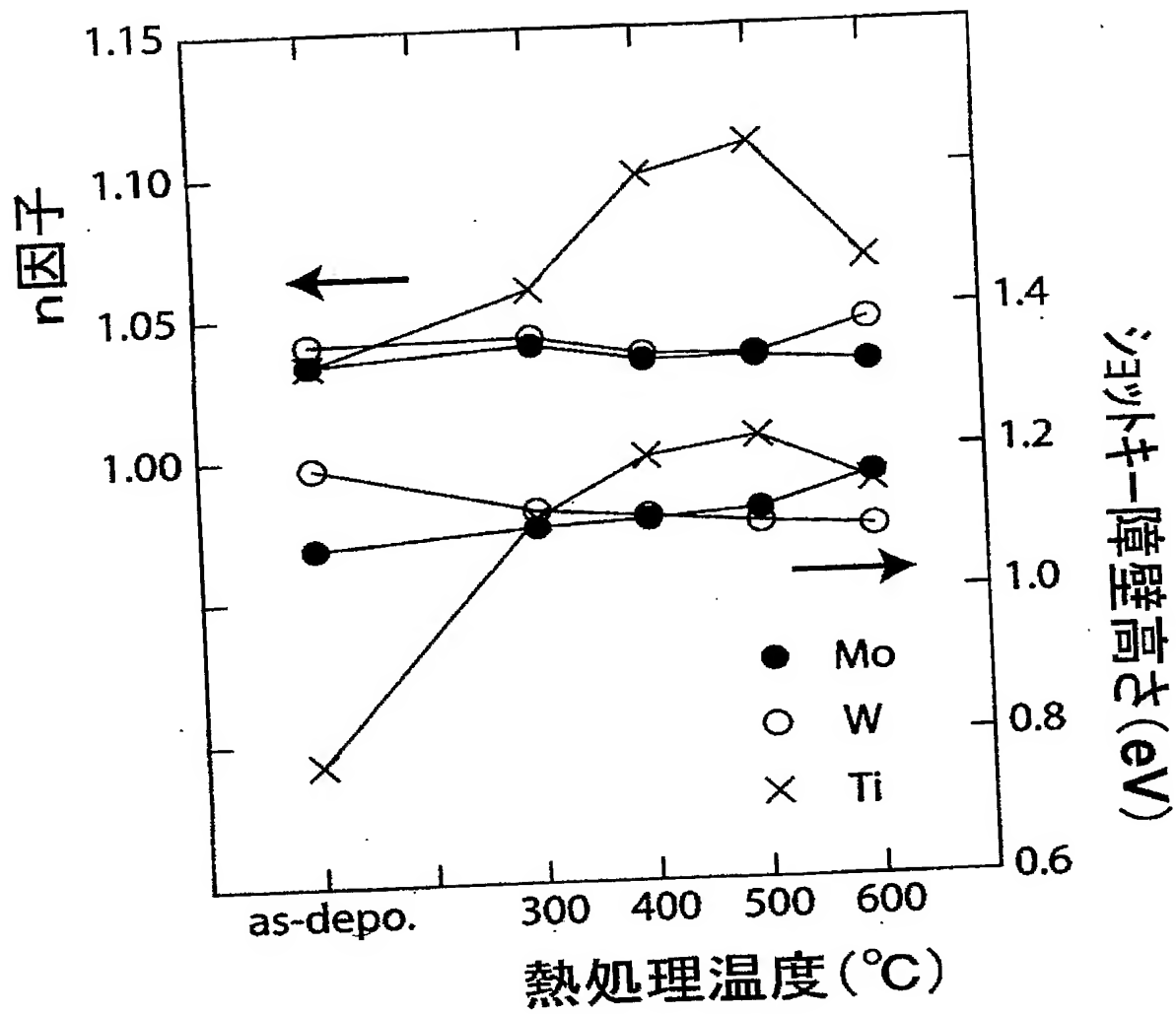
- 1 SiC 基板
- 2 SiC エピタキシャル層
- 3 イオン注入層
- 4 SiO<sub>2</sub> 酸化膜
- 5 SiO<sub>2</sub> 酸化膜
- 6 ニッケル膜
- 7 オーミック電極
- 8 モリブテン膜



【書類名】 図面  
【図 1】

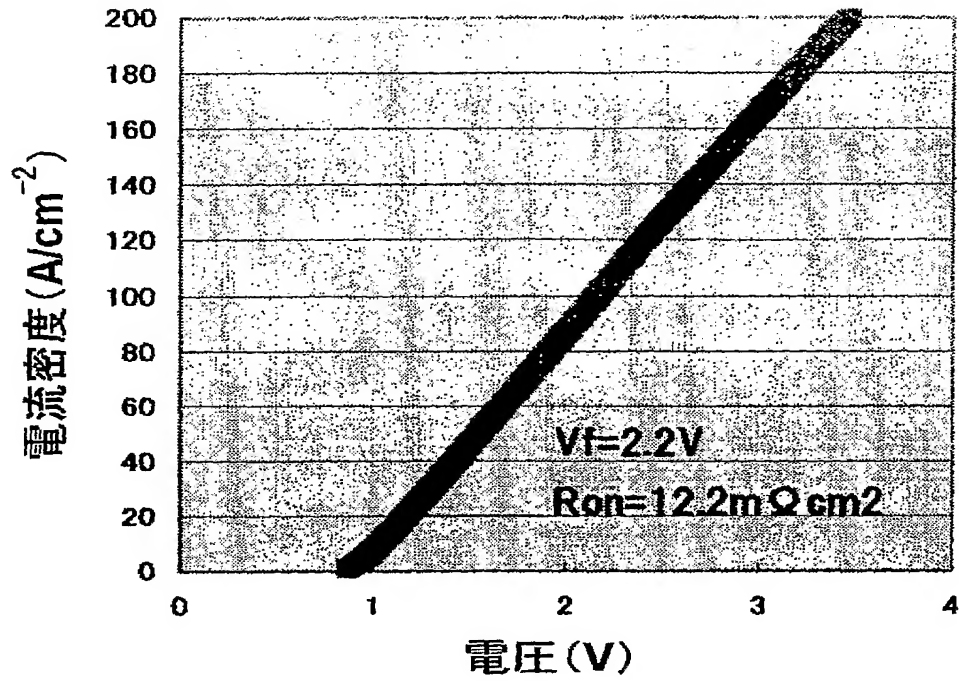


【図 2】

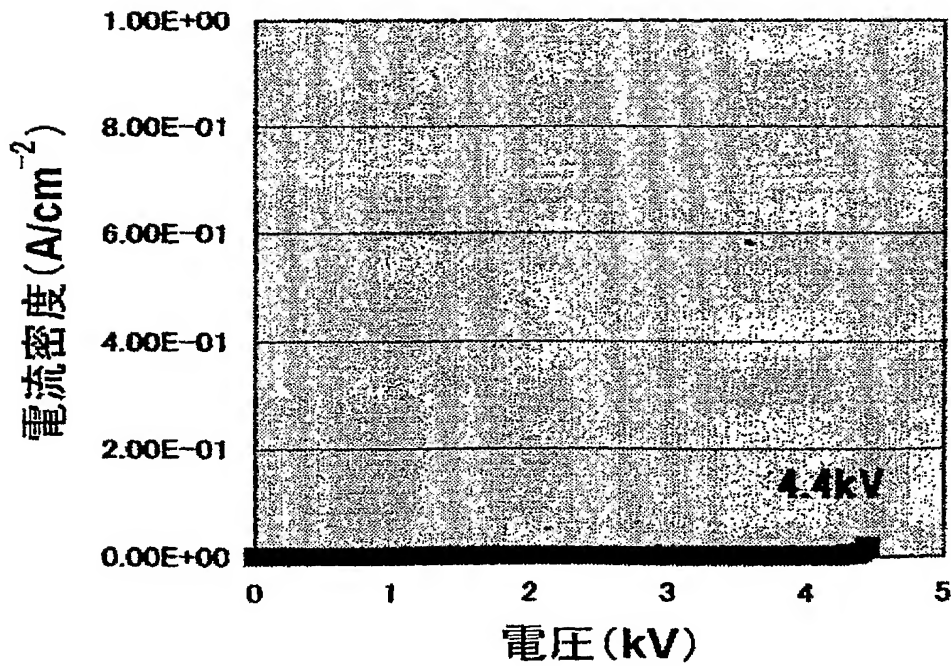


【図3】

(a)



(b)



## 【書類名】 要約書

## 【要約】

【課題】  $n$  因子を増加させることなくショットキー障壁の高さを電力損失が小さくなる所望の値に制御可能なショットキー接合型半導体装置の製造方法を提供する。

【解決手段】 本発明のショットキー接合型半導体装置の製造方法は、炭化珪素エピタキシャル層の表面にショットキー電極層を形成するショットキー接合型半導体装置の製造方法であって、炭化珪素エピタキシャル層の表面にモリブテン、タングステン、またはこれらの合金からなるショットキー電極層を形成した後、熱処理することにより、 $n$  因子をほぼ一定の低い値に保った状態でショットキー障壁の高さを制御することを特徴としている。

【選択図】 図 2

特願 2 0 0 4 - 0 9 2 6 6 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 1 7 3 8 0 9 ]

1. 変更年月日  
[変更理由]  
住 所  
氏 名

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日  
新規登録  
東京都千代田区大手町 1 丁目 6 番 1 号  
財団法人電力中央研究所